Aula 22

Fontes de Campo Magnético

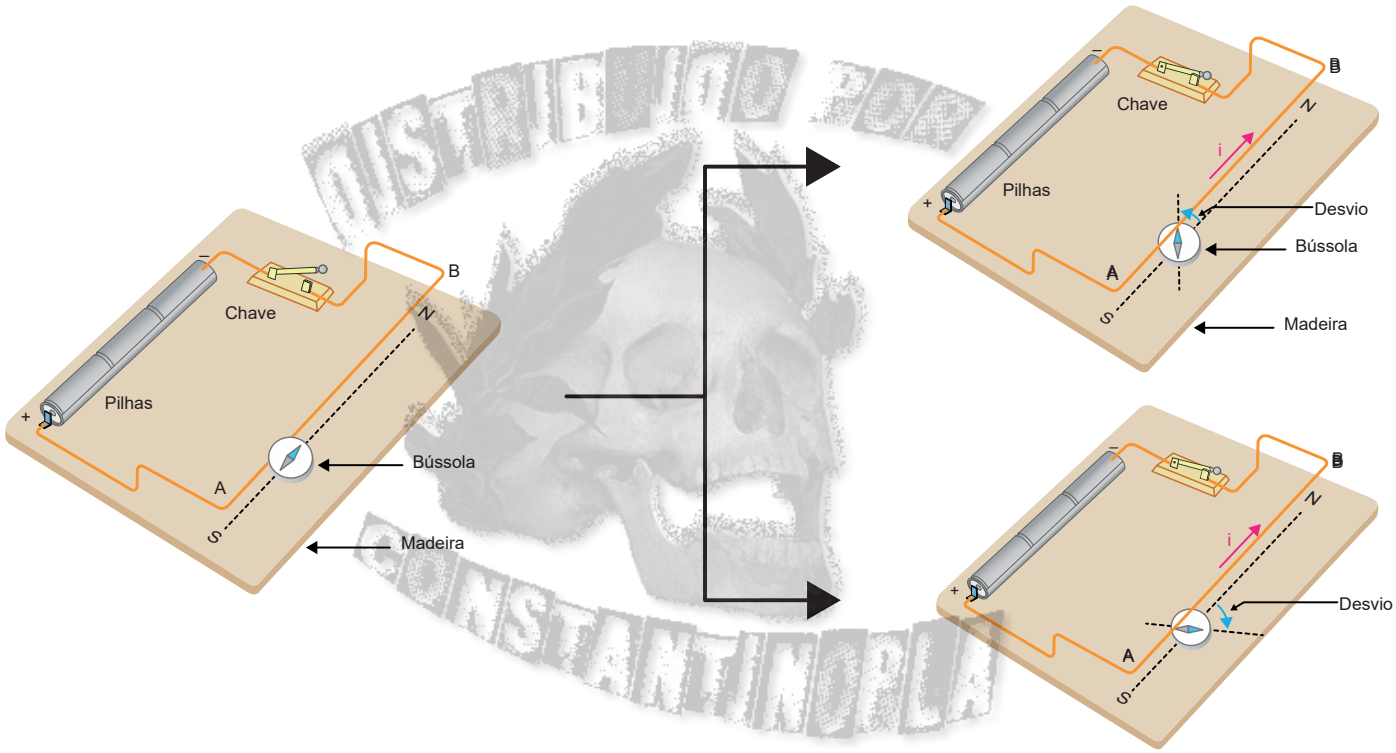
Lei de Biot-Savart-Laplace

Na física abordada até o momento, estudamos dois tipos de campo: uma massa cria um campo gravitacional e uma carga estacionária cria um campo elétrico.

O cientista Hans Christian Oersted, em 1820, observou que a agulha magnética de uma bússola sofria um desvio ao ser colocada próxima de fio percorrido por uma corrente, estabelecendo, assim uma conexão entre eletricidade e magnetismo.

De fato, o que o estudioso constatou foi que: **cargas elétricas em movimento são fontes de campo magnético.**

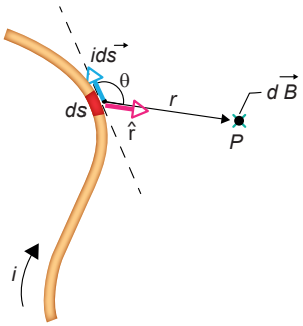
Exemplo: Experimento de Oersted (1820)



Na presente secção, iremos estudar alguns cálculos de campo magnético $\vec{B}$ muito úteis nas provas de vestibulares. Para isso apresentamos a lei fundamental no cálculo do campo magnético produzido por correntes elétricas.

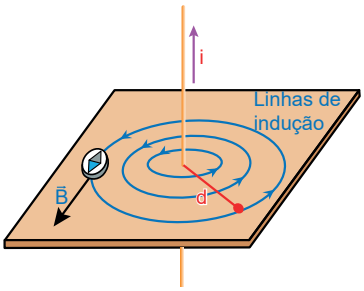
Para um elemento infinitesimal de corrente, temos:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^2}$$



Onde μ corresponde a permeabilidade absoluta do meio. Para o vácuo, temos $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T ·m/A. Para o nosso propósito estudaremos apenas algumas situações particulares de aplicações dessa lei e não faremos as demonstrações de tais resultados.

Campo magnético criado por um fio muito longo (Infinito)

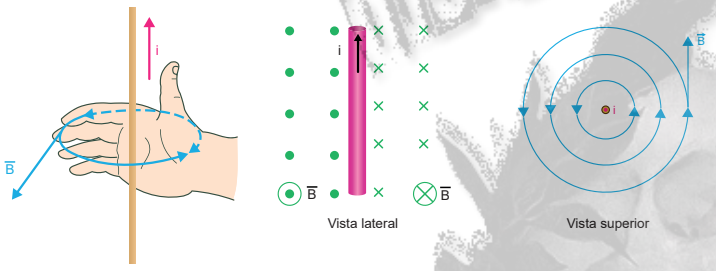


- Módulo: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$

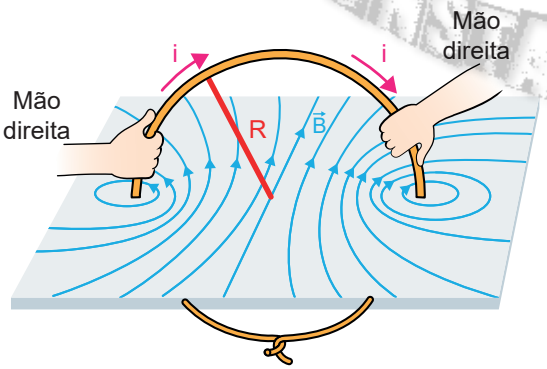
  μ_0 = Permeabilidade magnética do vácuo

  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$

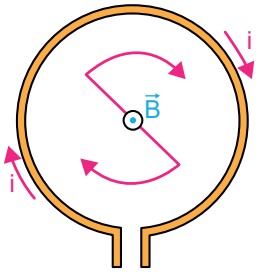
- Direção e sentido: Dados pela regra da mão direita envolvente.



Campo magnético criado por uma espira circula

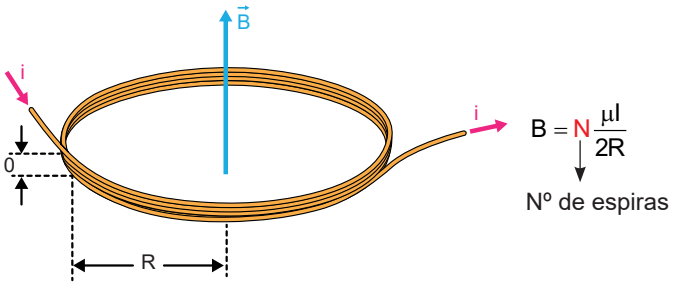


Visualização no plano da espira

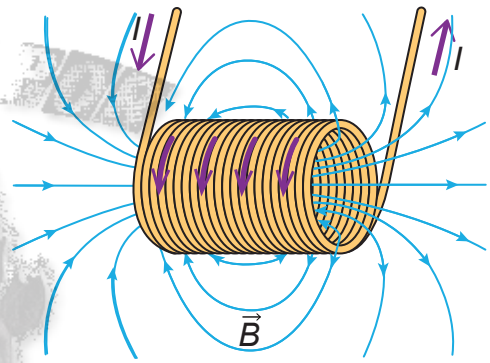


- Módulo (No centro da espira): $B = \frac{\mu I}{2R}$
- Direção e sentido: Dados pela regra da mão direita envolvente

Obs.: Para um enrolamento curto de espiras espessura diâmetro, temos a bobina chata:



Campo magnético criado por um solenoide (bobina longa)



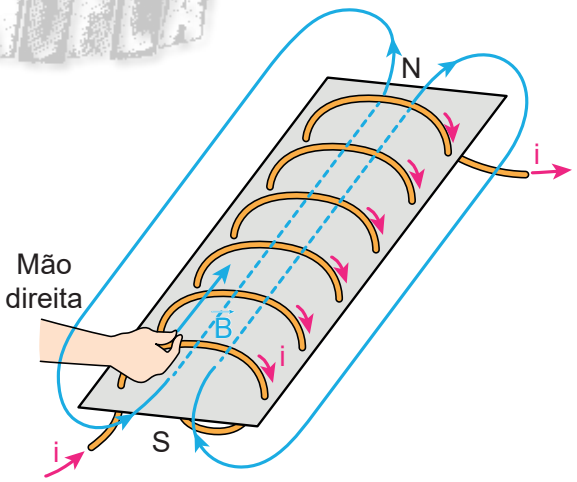
Obs.: Para o solenóide ideal (infinito), o campo no interior é uniforme e na parte externa é nulo.

- Módulo (No interior do solenoide): $B = \frac{\mu N I}{L}$

  N: nº de espiras

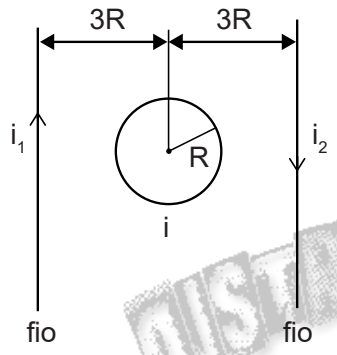
  L: comprimento do solenoide

- Direção e sentido: Regra da mão direita envolvente



Exercícios

01. (EsPCex) Dois fios condutores retilíneos, muito longos e paralelos entre si, são percorridos por correntes elétricas de intensidade distintas, i_1 e i_2, de sentidos opostos. Uma espira circular condutora de raio R é colocada entre os dois fios e é percorrida por uma corrente elétrica **i**. A espira e os fios estão no mesmo plano. O centro da espira dista de 3R de cada fio, conforme o desenho abaixo. Para que o vetor campo magnético resultante, no centro da espira, seja nulo, a intensidade da corrente elétrica i e seu sentido, tomando como referência o desenho, são respectivamente:



A) $\frac{i_3 + i_2}{3}$ e horário

B) $\frac{i_1 - i_2}{3\pi}$ e anti-horário

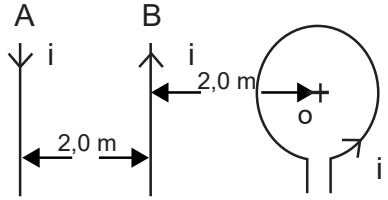
C) $\frac{i_1 - i_2}{3\pi}$ e horário

D) $\frac{i_1 + i_2}{3\pi}$ e horário

E) $\frac{i_1 + i_2}{3\pi}$ e anti-horário

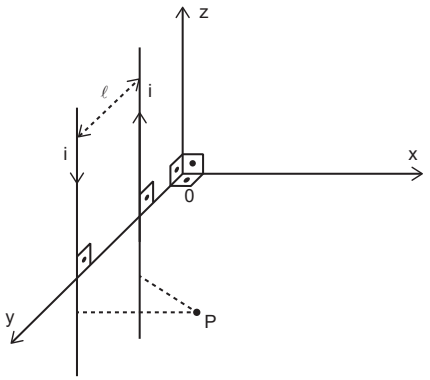
02. (EsPCex) Dois fios "A" e "B" retos, paralelos e extensos, estão separados por uma distância de 2 m. Uma espira circular de raio igual a 4 m encontra-se com seu centro "O" a uma distância de 2 m do fio "B" conforme desenho abaixo. A espira e os fios são coplanares e se encontram no vácuo. Os fios "A" e "B" e a espira são percorridos por correntes elétricas de mesma intensidade i= 1 A com os sentidos representados no desenho. A intensidade do vetor indução magnética resultante originado pelas três correntes no centro "O" da espira é:

Dado: Permeabilidade magnética do vácuo: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot Tm/A$



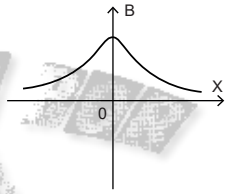
A) $3,0 \cdot 10^{-7}$ T
B) $4,5 \cdot 10^{-7}$ T
C) $6,5 \cdot 10^{-7}$ T
D) $7,5 \cdot 10^{-7}$ T
E) $8,0 \cdot 10^{-7}$ T

03. (AFA) Dois longos fios paralelos estão dispostos a uma distância l um do outro e transportam correntes elétricas de mesma intensidade **i** em sentidos opostos, como ilustra a figura abaixo.

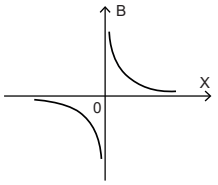


Nessa figura o ponto P é equidistante dos fios. Assim, o gráfico que melhor representa a intensidade do campo magnético resultante B, no ponto P, em função da abscissa **x**, é

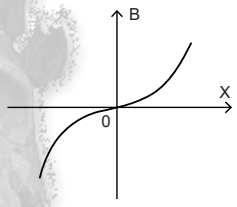
A)



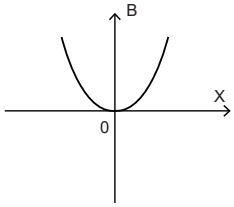
C)



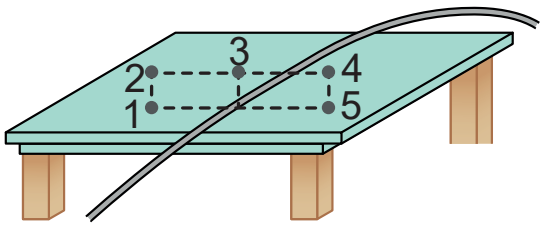
B)



D)

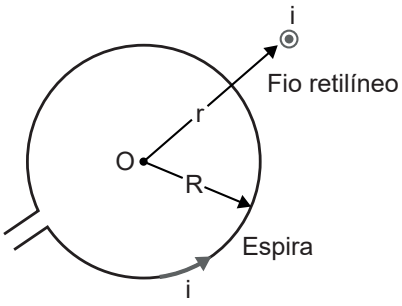


04. Apoiado sobre uma mesa, observa-se o trecho de um fio longo, ligado a uma bateria. Cinco bússolas são colocadas próximas ao fio, na horizontal, nas seguintes posições: 1 e 5 sobre a mesa; 2, 3 e 4 a alguns centímetros acima da mesa. As agulhas das bússolas só podem mover-se no plano horizontal. Quando não há corrente no fio, todas as agulhas das bússolas permanecem paralelas ao fio. Se passar corrente no fio, será observada deflexão, no plano horizontal, das agulhas das bússolas colocadas somente:

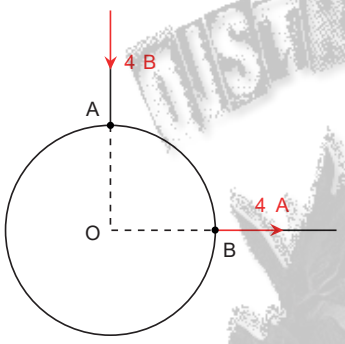


A) na posição 3.
B) nas posições 1 e 5.
C) nas posições 2 e 4.
D) nas posições 1, 3 e 5.
E) nas posições 2, 3 e 4.

05. Considere uma espira circular de raio R no plano desta página e um fio retilíneo e extenso disposto perpendicularmente a esse plano, a uma distância **r** do centro da espira. Ambos são percorridos por correntes de mesma intensidade **i**, cujos sentidos estão indicados na figura. A permeabilidade absoluta do meio é μ_0. Determine, em função de r, R, i, μ_0 e ?, o módulo do vetor indução magnética no centro O da espira.

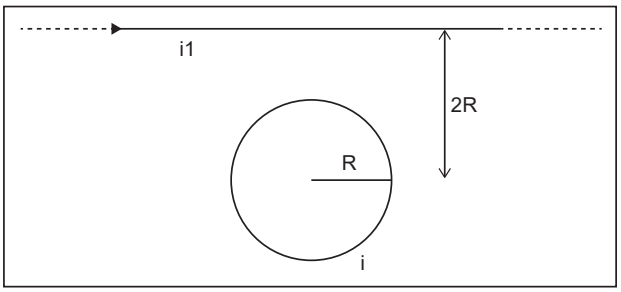


06. Um condutor homogêneo de resistência igual a 8 ?? tem a forma de uma circunferência. Uma corrente I = 4 A chega por um fio retilíneo ao ponto A e sai pelo ponto B por outro fio retilíneo perpendicular, conforme a figura. As resistências dos fios retilíneos podem ser consideradas desprezíveis.



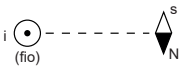
A) Calcule a intensidade das correntes nos dois arcos de circunferência compreendidos entre A e B.
B) Calcule o valor da intensidade do campo magnético B no centro O da circunferência.

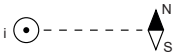
07. Uma espira de raio R é percorrida por uma corrente **i**. A uma distância 2R de seu centro encontra-se um condutor retilíneo muito longo que é percorrido por uma corrente i^1 (conforme a figura). As condições que permitem que se anule o campo de indução magnética no centro da espira, são, respectivamente:

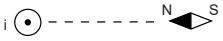


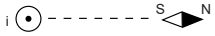
A) (i1/i) = 2π e a corrente na espira no sentido horário.
B) (i1/i) = 2π e a corrente na espira no sentido anti-horário.
C) (i1/i) = π e a corrente na espira no sentido horário.
D) (i1/i) = π e a corrente na espira no sentido anti-horário.
E) (i1/i) = 2π e a corrente na espira no sentido horário.

08. Coloca-se uma bússola nas proximidades de um fio retilíneo, vertical, muito longo, percorrido por uma corrente elétrica, contínua "i". A bússola é disposta horizontalmente e assim a agulha imantada pode girar livremente em torno de seu eixo. Nas figuras abaixo, o fio é perpendicular ao plano do papel, com a corrente no sentido indicado (saindo). Assinalar a posição de equilíbrio estável, da agulha imantada, desprezando-se o campo magnético terrestre (Explicar).

A)


B)


C)


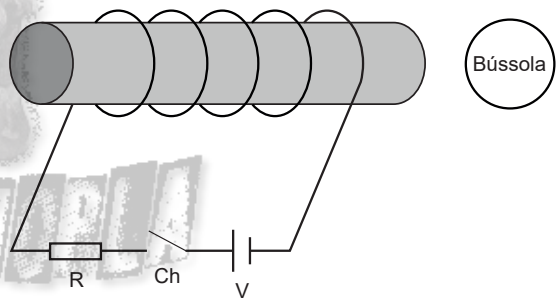
D)


E) nenhuma das situações anteriores.

09. (Efomm) Considere duas espiras circulares, coplanares e concêntricas. Uma espira, de raio R_1 é percorrida por uma corrente i_1 e a segunda espira, de raio $R_2 = 4R_1/9$ por uma corrente Nessas condições, o campo magnético no centro das espiras é nulo. Pode-se afirmar que a razão entre as correntes i_1 e i_2 é:

A) 4/9
B) 3/2
C) 9/4
D) 2/3
E) 0

10. (Eear) Um eletroímã é constituído por um fio condutor ideal enrolado sobre um cilindro de material ferromagnético de baixa histerese, ligado a uma fonte de alimentação ideal "V", sendo que o valor da corrente elétrica é limitado pelo resistor ôhmico "R", conforme a figura.



Com base nesse enunciado, assinale a alternativa que indica a posição correta em que ficará a agulha magnética se uma bússola for colocada na posição indicada por um círculo na figura, quando a chave Ch estiver fechada.
Considere, dentre as alternativas apresentadas a seguir, que a parte escura da agulha magnética da bússola é a que aponta para o polo norte geográfico terrestre. E também que campo magnético gerado pelo eletroímã próximo ao mesmo é muito mais intenso que o campo magnético Terrestre.

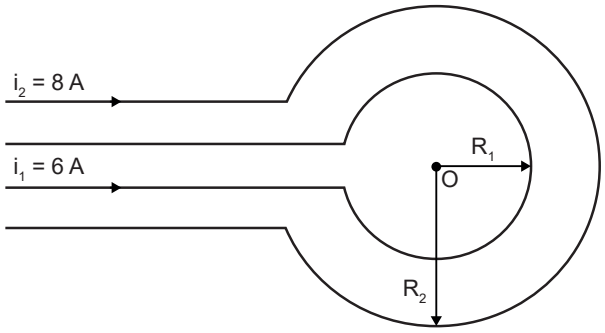
A)

C)

B)

D)

11. (Espcex (Aman)) Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares de raios $R_1 = 2\pi m$ e $R_2 = 4\pi m$ são percorridas, respectivamente, por correntes de intensidades $i_1 = 6A$ e $i_2 = 8A$, conforme mostra o desenho.



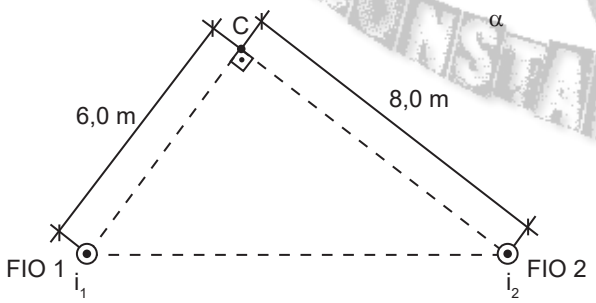
Desenho ilustrativo – fora de escala

A intensidade (módulo) do vetor indução magnética no centro das espiras "O" é

Dado: o meio é o vácuo e a permeabilidade magnética do vácuo $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$

A) $2 \cdot 10^{-7}$ T
B) $3 \cdot 10^{-7}$ T
C) $6 \cdot 10^{-7}$ T
D) $8 \cdot 10^{-7}$ T
E) $9 \cdot 10^{-7}$ T

12. (Espcex (Aman)) Dois fios longos e retilíneos 1 e 2 fixos e paralelos entre si, estão dispostos no vácuo, em uma direção perpendicular a um plano α. O plano α contém o ponto C conforme representado no desenho abaixo. Os fios são percorridos por correntes elétricas constantes, de mesmo sentido, saindo do plano α para o observador. O fio 1 é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade $i_1 = 6A$ e o fio 2 por uma corrente de intensidade $i_2 = 8A$. O módulo do vetor indução magnética resultante no ponto C devido às correntes i_1 e i_2 é



Desenho ilustrativo fora de escala

Dado: Considere a permeabilidade magnética do vácuo igual a $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot T \cdot m/A$

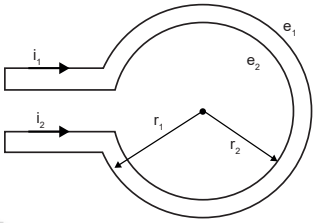
A) $8 \cdot 10^{-7}$ T
B) $6 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-7}$ T
C) $4 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-7}$ T
D) $4 \cdot 10^{-7}$ T
E) $2 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-7}$ T

13. Uma espira circular com 10π cm de diâmetro, ao ser percorrida por uma corrente elétrica de 500 mA de intensidade, produz no seu centro um vetor campo magnético de intensidade igual a _____ $\cdot 10^{-6}$ T.

Obs.: Utilize $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ t·m/A

A) 1
B) 2
C) 4
D) 5

14. Na figura abaixo, e_1 e e_2 são duas espiras circulares, concêntricas e coplanares de raios $r_1 = 8,0$ m e $r_2 = 2,0$ m respectivamente. A espira e_2 é percorrida por uma corrente $i_2 = 4,0$ A, no sentido anti-horário. Para que o vetor campo magnético resultante no centro das espiras seja nulo, a espira deve ser percorrida, no sentido horário, por uma corrente i_1, cujo valor, em amperes, é de



A) 4,0
B) 8,0
C) 12
D) 16
E) 20

15. A ressonância magnética é um equipamento utilizado na medicina para fazer imagem não invasiva. A obtenção da imagem é a partir do hidrogênio que se encontra amplamente distribuído nos tecidos biológicos e por suas características em responder a campos magnéticos externos como se fosse um pequeno imã. Esse campo magnético é produzido por um tubo que, no seu interior, possui um enrolamento de fios, colocado em um dispositivo isolado, formando um solenoide em cujo centro o paciente é colocado.

Para um exame do tórax, o campo magnético necessário é 1,5 T produzido por uma corrente elétrica de 20 A. Qual é o número de espira, por centimetro, nesse tubo para a realização desse exame? Considere $\mu = 1,25 \cdot 10^{-6}$ T · m/A.

A) $6 \cdot 10^4$
B) $6 \cdot 10^2$
C) $120 \cdot 10^3$
D) $8,3 \cdot 10^{-3}$
E) $12 \cdot 10^2$

Gabarito

01	02	03	04	05
E	D	E	E	*
06	**07**	**08**	**09**	**10**
*	B	B	C	B
11	**12**	**13**	**14**	**15**
A	E	B	D	B

***05:** $\frac{\mu_0 i}{2}\sqrt{\frac{1}{R^2}+\frac{1}{\pi^2 r^2}}$

06: A) 1A, 3A B) Zero

Resoluções

01. $B_{1,\ (fio\ esquerdo)} + B_{2(fio\ direito)} - B_{(espira\ circular)} = 0$. Logo, a corrente na espira circular encontra-se no sentido anti-horário para que seu campo aponte no sentido "saindo do quadro", uma vez que as correntes nos fios retilíneos produzem os campos magnéticos B_1 e B_2 que, na região entre os fios, apontam para dentro do quadro.

$$\rightarrow \frac{\mu_0 i_1}{2(3R)\pi} + \frac{\mu_0 i_2}{2(3R)\pi} = \frac{\mu_0 i}{2R} \rightarrow i = \frac{(i_1 + i_2)}{3\pi}$$

Resposta: E

02. Errata, raio da espira circular: $\frac{\pi}{4}$m

$\frac{\mu_0 1A}{2(2+2)\pi} = \frac{\mu_0}{8\pi}$, campo gerado pelo fio A no centro O, apontando no sentido de sair do quadro.

$\frac{\mu_0 1A}{2(2)\pi} = \frac{\mu_0}{4\pi}$, campo gerado pelo fio B no centro O, apontando no sentido de entrar no quadro.

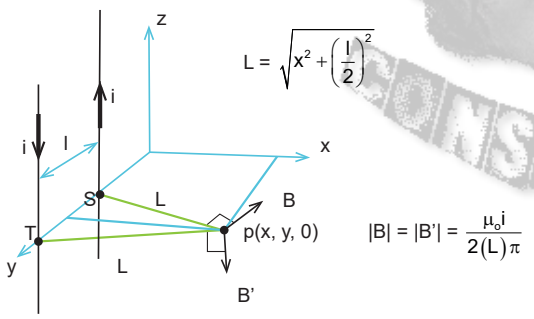
$\frac{\mu_0 1A}{2\left(\frac{\pi}{4}\right)} = \frac{2\mu_0}{\pi}$, campo gerado pela espira circular em seu centro O, apontando no sentido de sair do quadro.

$$\frac{\mu_0}{8\pi} + \frac{2\mu_0}{\pi} - \frac{\mu_0}{4\pi} = \left(\frac{15\mu_0}{8\pi}\right) = 7{,}5 \cdot 10^{-7}\ T$$

Saindo do quadro.

Resposta: D

03.



$L = \sqrt{x^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}$

$|B| = |B'| = \frac{\mu_o i}{2(L)\pi}$

O campo magnético resultante em P tem módulo:

$$\sqrt{|B|^2 + |B'|^2 + 2|B||B'|\cos(180 - \alpha)}$$

$$\alpha = S\hat{P}T,\ \text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\left(\frac{\ell}{2}\right)}{L}$$

$$|B|\sqrt{2 - 2\cos(\alpha)} = |B|2\text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\mu_0 i}{2(L)\pi} 2\frac{\left(\frac{\ell}{2}\right)}{L} = \frac{\mu_0 i \ell}{2(L^2)\pi}$$

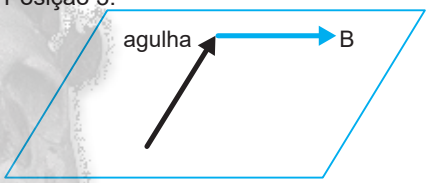
$$|B_{resultante}| = \frac{\mu_0 i \ell}{2\left(x^2 + \left(\frac{\ell}{2}\right)^2\right)\pi} = \frac{2\mu_0 i \ell}{\left(4x^2 + (\ell)^2\right)\pi}$$

Note que o denominador de $|B_{resultante}|$ é uma função quadrática de x, $(4x^2 + (\ell)^2)$, que possui um valor mínimo para x = 0, sendo, por conseguinte, o denominador minimizado, maximiza a fração, $\frac{2\mu_0 i \ell}{\left(4x^2 + (\ell)^2\right)\pi} \leq \frac{2\mu_0 i \ell}{\left((\ell)^2\right)\pi} = \frac{2\mu_0 i}{\ell\pi}$, máximo valor. E à medida que o valor |x| aumenta $|B_{resultante}|$ diminui. Portanto, o gráfico que se enquadra é o do item A.

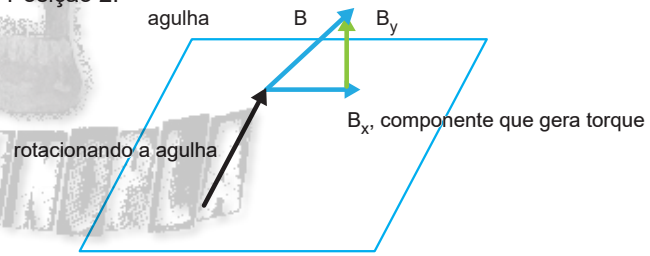
Obs.: Vale salientar que a disposição dos eixos coordenados não é conveniente, o correto seria o eixo **z**, no sentido positivo, apontar no sentido contrário ao do que consta na figura.

Resposta: E

04. Fio muito longo, no qual se passa uma corrente elétrica, gera um campo magnético circular em torno do eixo que contém o fio.
Deve-se observar a disposição geométrica das linhas de campo incidentes sobre a agulha; elas têm que gerar torque sobre a agulha de modo a rotacioná-la. Nas posições 1 e 5, as linhas de campo magnético incidem, perpendicularmente ao plano da mesa, sobre as agulhas magnéticas de modo que não é possível gerar torque não havendo, assim, deflexão, uma vez que as bússolas se encontram no plano horizontal da mesa.
Já nas posições 2, 3 e 4, nota-se que as linhas de campo magnético, provenientes do fio, incidem sobre as suas respectivas agulhas ocasionando de deflexão, pois há componente do campo magnético capaz de gerar torque sobre a agulha.
Posição 3:



Posição 2:



Posição 4: Análogo à posição 2.

Resposta: E

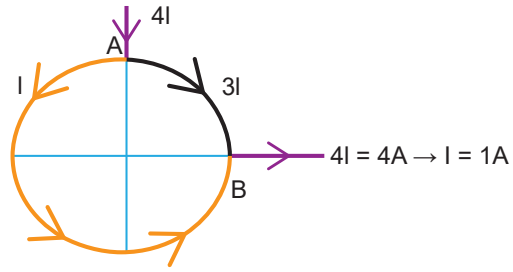
05. Módulo do campo gerado pela espira circular em seu centro O, apontando no sentido de sair do quadro: $\frac{\mu_0 i}{2R}$

Módulo do campo, gerado pelo fio, no centro O, contido no plano do quadro: $\frac{\mu_0 i}{2\pi r}$

Logo, esses campos magnéticos são perpendiculares entre si. Obtemos, por Pitágoras, o módulo campo magnético resultante em O.

$$|B_{resultante}| = \sqrt{\left(\frac{\mu_0 i}{2R}\right)^2 + \left(\frac{\mu_0 i}{2\pi r}\right)^2} = \frac{\mu_0 i}{2}\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{\pi r}\right)^2}$$

06.



A resistência no arco maior $\overset{\frown}{AB}$ é três vezes maior do que a do arco menor, pois seu comprimento é três vezes maior, logo a corrente elétrica pelo menor é três vezes maior.

a) Pelo arco menor: 3A

Pelo arco maior : 1A

Campo magnético produzido por uma corrente elétrica que percorre um fio, cujo formato é um arco de circunferência de ângulo φ, em readiano, é dado pela fórmula:

$$\left(\frac{\mu_0 i\varphi}{4\pi R}\right)$$

Arco maior $\overset{\frown}{AB} = \left(\frac{3\pi}{2}\right)$, arco menor $\overset{\frown}{AB} = \left(\frac{\pi}{2}\right)$.

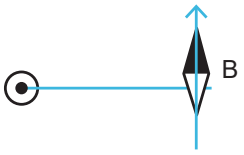
$$|B_{resultante}| = \left(\frac{\mu_0 I\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{4\pi R}\right) - \left(\frac{\mu_0 3I\left(\frac{\pi}{2}\right)}{4\pi R}\right) = 0$$

07. Devemos ter: $\left(\frac{\mu_0 i_1}{2\pi(2R)}\right) - \left(\frac{\mu_0 3i}{2R}\right) = 0 \rightarrow \frac{i_1}{i} = 2\pi$

Uma vez que o campo magnético proveniente do fio retilíneo incide, entrando no plano do quadro, no centro da espira, o sentido da corrente na espira deve ser anti-horário a fim de gerar um campo, conforme a regra da mão direita, saindo do quadro, contrário àquele, portanto, de modo a anulá-lo.

Resposta: B

08.



,

campo magnético circular produzido pelo fio, na posição da agulha da bússola.

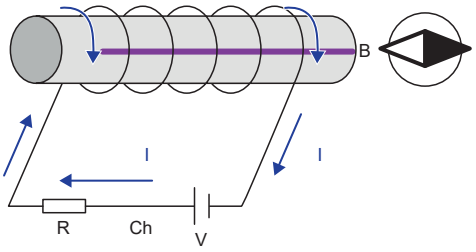
Conforme esta configuração, B atrai o polo sul da bússola e repele seu polo norte.

Resposta: B

09. $\left(\frac{\mu_0 i_1}{2R_1}\right) - \left(\frac{\mu_0 i_2}{2R_2}\right) = 0$, campos apontando em sentido contrário e tendo mesma intensidade. $\frac{i_1}{R_1} = \frac{i_2}{R_2} \rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{9}{4}$

Resposta: C

10.



B atrai o polo sul da bússola e repele seu polo norte.

Resposta: B

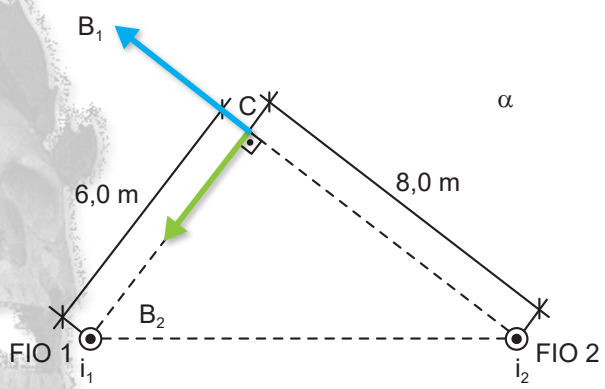
11. Campo magnético da espira 2, linhas de campo entrando no quadro no centro O, $\left(\frac{\mu_0 i_2}{2R_2}\right) = \left(\frac{\mu_0 8}{2(4\pi)}\right) = \left(\frac{\mu_0}{\pi}\right)$

Campo magnético da espira 1, linhas de campo saindo do quadro no centro O, $\left(\frac{\mu_0 i_1}{2R_1}\right) = \left(\frac{\mu_0 6}{2(2\pi)}\right) = \left(\frac{3\mu_0}{2\pi}\right)$

$$|B_{resultante}| = \left(\frac{3\mu_0}{2\pi}\right) - \left(\frac{\mu_0}{\pi}\right) = \left(\frac{\mu_0}{2\pi}\right) = \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi}\right) = 2 \cdot 10^{-7} \text{ tesla (T)}$$

Resposta: A

12.



$$B_1 = \left(\frac{\mu_0 i_1}{2\pi d_1}\right) = \left(\frac{\mu_0 6}{2\pi 6}\right)$$

$$B_1 = \left(\frac{\mu_0}{2\pi}\right)$$

$$B_2 = \left(\frac{\mu_0 i_2}{2\pi d_2}\right) = \left(\frac{\mu_0 8}{2\pi 8}\right)$$

$$B_2 = \left(\frac{\mu_0}{2\pi}\right)$$

$$|B_{resultante}| = \sqrt{(B_1)^2 + (B_2)^2} = \sqrt{2\left(\frac{\mu_0}{2\pi}\right)^2} =$$

$$= \frac{\mu_0\sqrt{2}}{2\pi} = 2\sqrt{2} \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

Resposta: E

13. $\left(\frac{\mu_0 i}{2R}\right) = \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500 \cdot 10^{-3}}{10\pi \cdot 10^{-2}}\right) = (2)10^{-6}\ T$

Resposta: B

14. $\left(\frac{\mu_0 i_1}{2R_1}\right) - \left(\frac{\mu_0 i_2}{2R_2}\right) = 0 \Rightarrow i_1 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right) i_2 = \left(\frac{8}{2}\right) 4 = 16A$

Resposta: D

15. Campo magnético de um solenoide:

$B = \left(\frac{\mu_0 Ni}{\ell}\right) = \mu_0 ni$

$1{,}5 = (\mu_0 ni) = (1{,}25 \cdot 10^{-6}\ n20) \Rightarrow n = \frac{1{,}5 \cdot 10^6}{25}$

$= 6 \cdot 10^4 \left(\text{espiras}/\text{m}\right) = 6 \cdot 10^2 \left(\text{espiras}/\text{cm}\right)$

Resposta: B

Anotações

DIGITADOR: Georgenes – **REVISOR(A):** Karlla
056.721 - 165807/22